УДК 624.131.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОГЕННОГО ПОДТОПЛЕНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ г. ТОМСКА)

К.И. Кузеванов, Е.М. Дутова, Д.С. Покровский*

Томский политехнический университет
E-mail: emdutova@mail.ru
*Томский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: lls@tgasa.tomsk.ru

Рассмотрены вопросы анализа гидрогеологических условий техногенного подтопления урбанизированной территории с использованием геоинформационных технологий. Описана структура гидрогеологической информации, представленной в виде покрытий электронной карты городской территории. Показаны основные приемы работы с атрибутивной информацией в целях комплексной оценки условий развития процесса подтопления урбанизированной территории.

Введение

Геоинформационные системы (ГИС), получили в последнее время широкое распространение в практике геоэкологических исследований [1]. Они находят активное применение и в решении разнообразных задач, связанных с оптимизацией систем управления территориями и рациональным использованием природных ресурсов.

Место и основная роль ГИС в геологических исследованиях определяется как интеграция, анализ и комплексная интерпретация разнотипных данных, разработка прогнозов, моделирование и планирование перспективных действий, представление результатов в терминах целевого геологического свойства и в картографической форме.

Интерес к внедрению ГИС-технологий в структуры управления (в том числе и органов государственной власти) обусловлен, прежде всего, уникальной приспособленностью новых информационных систем к удобному, в том числе и для неподготовленного пользователя, объединению разнородной информации на основе ее координатной привязки. Возникающая зачастую потребность совместного использования независимых информационных массивов различных муниципальных ведомств выводит на первый план необходимость четкой постановки проблемы, ради которой выполняется наполнение электронных баз геоинформационных систем. В качестве одной из таких важнейших проблем жизнедеятельности городов выступает эволюция гидрогеологических систем на урбанизированных территориях со всем комплексом сопутствующих последствий сложнейших взаимодействий.

Все исследования в рамках создания автоматизированных систем, связанные со сбором, хранением и анализом информации, относящейся к территориям крупных населенных пунктов, оформились в отдельное направление, получившее название Муниципальных геоинформационных систем (МГИС) [2]. В связи с этим возникает оправданный интерес к использованию широкого спектра сведений, характеризующих динамическое состояние городской среды. Подземная гидросфера в этом отношении занимает особое место как наиболее мобильный элемент геологической среды, а на первый план выходит использование количественных характеристик фильтрационных потоков для прогноза потенциальных изменений гидрогеологических условий, приводящих, в том числе, и к негативным последствиям.

Характеристика объекта исследований

Территория г. Томска подвержена воздействию опасных инженерно-геологических процессов, среди которых одним из самых масштабных является подтопление. Особенности развития этого процесса определяются комплексным воздействием как искусственных, так и естественных факторов.

Инженерная инфраструктура г. Томска отличается уникальной планировкой городской застройки в силу объективных причин отличающейся отсутствием выраженного функционального зонирования территории на промышленные и жилые районы, достаточно старой системой водонесущих коммуникаций и существенно разнородными типами застройки от небольших домов частного сектора без централизованных систем водоснабжения и водоотведения и с приусадебными участками до высокоэтажных современных строений на мощных свайных основаниях.

Гидрогеологические условия территории г. Томска предопределяются особенностями геологического строения. В геологическом разрезе выделяются два структурных этажа. Основание представлено плотными дислоцированными трещиноватыми породами палеозоя, на котором залегают рыхлые песчано-глинистые отложения мезо-кайнозойского возраста. Роль раздельного слоя между ними выполняет глинистая кора выветривания мел-палеогенового возраста, имеющая переменную мощность и представленная водоупорными глинами. В плотных породах фундамента залегают трещинные, преимущественно напорные воды, которые частично используются для нужд хозяйственно-питьевого водоснабжения на территории города. Для рыхлых пород чехла характерно близкое к горизонтальному залегание, в соответствии с которым возможно выделение водоносных горизонтов по литолого-стратиграфическому принципу. Особые условия залегания подземных вод характерны для комплекса аллювиальных отложений достаточно хорошо развитой гидрографической сети. Подземные воды верхней части гидрогеологического разреза испытывают наиболее интенсивное техногенное воздействие и сами, в свою очередь, оказывают существенное влияние на условия жизнедеятельности города. Питание подземных вод местное и осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и утечек из водонесущих коммуникаций.

Характер взаимодействия поверхностного и подземного стока во многом определяет экологическую обстановку (контролируя, например, развитие ореолов загрязнения) и должны учитываться не только при планировании работ исследовательского характера, направленных на изучение водных объектов, но и активно использоваться при интерпретации результатов этих исследований и решения практических задач.

Особенности методики исследований

Особенность методики исследования изменений гидрогеологической обстановки на территории города заключается в реализации нескольких методических приемов гидрогеологического и геоинформационного направлений.

В настоящее время наиболее прогрессивные методики оперативного управления городскими агломерациями лежат в области внедрения МГИС. Такие системы активно разрабатываются и для г. Томска различными организациями (ТГУ, ТЦ "ТОМСКГЕОМОНИТОРИНГ", ТОО НПО "Сибгеоинформатика", НИИ ББ и др.).

В НПО "Сибгеоинформатика" в сотрудничестве с главным управлением архитектуры и градостроительства, на основе массовой оцифровки картографичесих материалов масштабов 1:10000 и 1:5000 создана электронная карта г. Томска с несколькими

тематическими слоями. Созданная система используется в структуре муниципального управления города для широкого круга задач, решаемых в соответствующих подсистемах. В частности, в подсистеме управления архитектуры и градостроительства осуществляется: выбор и предоставление земельного участка под проект и строительство; разрешение и контроль строительства; подготовка архитектурно-планировочных заданий на Генплан и микрорайон; выдача справок и другой информации в пределах компетенции системы. В подсистеме Комитета по земельным ресурсам и землеустройству производится: создание и ведение земельного кадастра по результатам инвентаризации; выделение земельного участка и оформление юридических документов; контроль за использованием и охраной земель; перерегистрация, регистрация сделок купли-продажи земельных участков; подготовка отчетных документов; выдача потребительской информации по земельным спорам; оценка ожидаемой суммы земельного налога; анализ использования земель; расчет арендной платы.

Этот перечень является типичным набором задач, решаемых с использованием средств автоматизации оперативной обработки информации. Документооборот строится на активном использовании MS OFFICE.

В ТГУ создана ГИС, позволяющая накапливать, систематизировать и передавать потребителю сведения геоэкологического характера. На электронную карту города вынесено два тематических слоя экологического содержания: выпуски стоков и свалки бытовых и производственных отходов [2].

Работы ТЦ "Томскгеомониторинг" направлены на решение прикладных задач мониторинга геологической среды территорий Томской области и участие в проведении комплексных геоэкологических исследований на основе широкого использования информационно-компьютерной системы [3]. Функционально эта система включает следующие подсистемы:

1. Специализированная база данных интегрированной информации о состоянии геологической среды, формируемая целенаправленными наблюдениями по разноуровневой сети пунктов наблюдений, имеющих географическую привязку.
2. Средства картографической поддержки в актуальном состоянии географически распределенных данных на основе современных полнофункциональных ГИС.
3. Комплекс программных средств для математической обработки фактографической и картографической информации, включающий вероятностно-статистический анализ из прогноз. Использование постоянно действующих разномасштабных гидрогеомиграционных моделей для подземных вод.

Несмотря на развитие автоматизированных систем геоэкологической направленности, в настоящее время уделяется недостаточное внимание учету подземных вод в системе комплексных оценок городских территорий и слоях электронных карт экологического содержания.

Нами сделана попытка актуализации гидрогеологических исследований прошлых лет с использованием ГИС технологий. Авторами ранее выполнены исследования по схематизации гидрогеологических условий развития процессов техногенного подтопления на территории г. Томска [4–7]. Результаты этих исследований оформлены в виде комплекта частных гидрогеологических карт, которые представляют интерес для оценки условий развития процессов техногенного подтопления городской территории.

Основная проблема оценки изменения гидрогеологических условий связана с отсутствием на территории города кондиционных геологических и гидрогеологических карт крупного масштаба, поэтому в своих исследованиях мы опирались на обобщение большого объема материалов инженерно-геологических изысканий, накопленных в фондах ТомскТИСИЗа.

В результате обработки этого массива информации была построена схематическая гидрогеологическая карта, на которой выделены водоносные горизонты отложений чехла, испытывающие наиболее интенсивное влияние техногенной нагрузки. Получена площадная картина распределения уровней грунтового потока. Выявлены контуры развития верховодки. Построена карта глубин залегания подземных вод. Выделены участки наиболее интенсивного роста уровней подземных вод [4].

Для прогноза развития техногенной верховодки выполнена схематизация верхней части геологического разреза до усредненной глубины сферы взаимодействия инженерных сооружений с геологической средой. Выделены типовые геологические разрезы и проведено их картирование на площади города [5, 6]. В основу выделения типов положен анализ соотношений хорошо проницаемых и слабо проницаемых слоев разреза. Сочетание тех или иных разностей отложений в разрезе определяет предопределенность территории к развитию процессов подтопления. На площади города выделены границы районов с одно-, двух- и трехслойным строением фильтрационных разрезов, по-разному реагирующих на поступление дополнительного инфильтрационного питания. Анализ пространственного распределения выделенных типов фильтрационных разрезов позволил выполнить районирование территории города и с качественной стороны охарактеризовать ее по степени потенциальной подтопляемости.

Анализ полученных результатов показывает, что их использование не ограничивается решением задач, связанных только с прогнозом подтопления. На базе этого материала возможно планирование и интерпретация данных иных исследований городской территории геоэкологической направленности. Например, нами выполнен анализ структуры фильтрационных и поверхностных потоков на территории

г. Томска [8]. В результате получена карта районирования территории города по условиям поверхностного стока [7], которая может служить основой для оценки пространственных границ ореолов потенциального загрязнения осваиваемых площадей [9, 10]. Сопоставление этой карты с гидроизогипсами первого от поверхности водоносного комплекса четвертичных отложений позволяет сделать важный вывод о стабильности во времени общего направления движения подземных вод и выявить роль постоянно действующих поверхностных водотоков как естественных дрен. Перечень практических задач, решаемых с использованием полученных материалов, несомненно, может быть значительно расширен, но весьма существенным фактором, сдерживающим их оперативное использование, является традиционная форма представления картографических построений на бумажном носителе.

Для расширения возможностей использования накопленного ранее богатого фактического материала, нами сделана попытка представить элементы геологического строения и гидрогеологических условий в виде фрагмента многослойной электронной карты. Для этого использованы возможности настольной геоинформационной системы MapInfo (http://www.mapinfo.com). Работа над исходным картографическим материалом выполнялась в несколько этапов.

Твердая копия фрагмента карты была отсканирована и сохранена в формате растрового изображения (рис. 1). Размеры фрагмента карты оказались больше размера планшета сканера, что потребовало сканирования оригинала по частям с последующей "сшивкой" растрового изображения. Для работы с растром использовались возможности программного комплекса CorelDraw. Точное позиционирование отдельных частей растра выполнялось с использованием инструмента интерактивной прозрачности, что позволяет контролировать совмещение маркерных точек в процессе "буксировки" растрового фрагмента. Совмещенное изображение фиксировалось путем "группировки" для предотвращения случайного разрушения единого образа. На завершающем этапе обработки растра он сохранялся на жестком.

Полученный растр использовался в геоинформационной системе MapInfo в качестве подложки, то есть основы для прорисовки элементов карты и сохранения их в виде векторной графики. На этом этапе важнейшей процедурой является привязка растрового изображения к системе координат (рис. 2). Нами использована система условных прямоугольных координат. Собственно оцифровка элементов геологического строения заключалась в прорисовке графических элементов (линий, полигонов) и сохранении их в виде отдельных табличных значений (слоев). Картографическая модель участка городской территории представлена семейством линий и замкнутых полигонов (рис. 3). Линиями изображены границы водоносных горизонтов, изолинии уровней грунтовых вод, верховодки, глубин залегания подземных вод. Замкнутыми полигонами показаны контуры развития верховодки, а также различных типов фильтрационных разрезов.

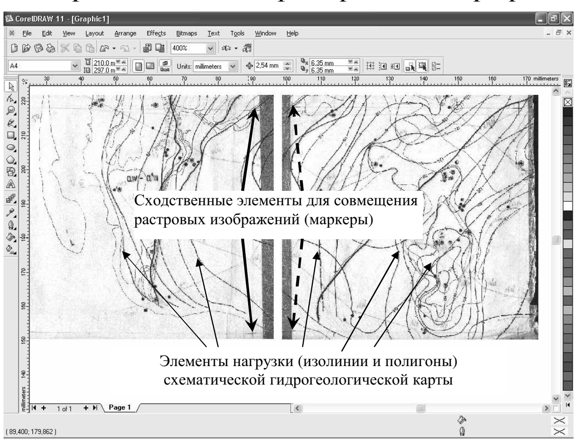


Рис. 1. *Растровое изображение фрагментов схематической гидрогеологической карты до выполнения процедуры "сшивки"*

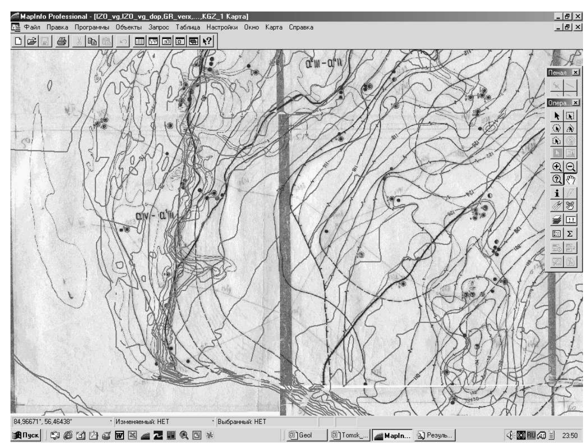


Рис. 2. *Результат "привязки" растрового изображения фрагмента схематической гидрогеологической карты к электронной основе рельефа городской территории*

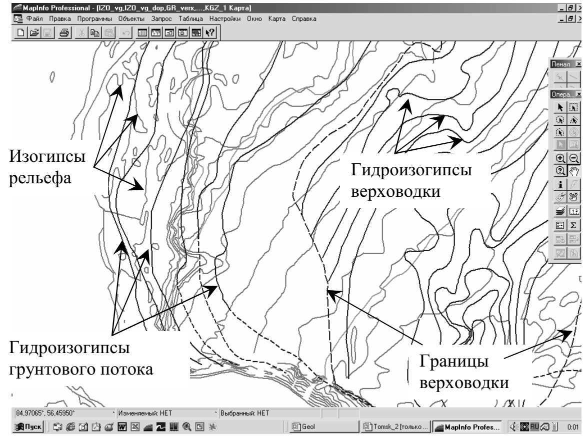


Рис. 3. *Результат оцифровки растрового изображения фрагмента схематической гидрогеологической карты. Показано несколько покрытий: гидроизогипсы грунтового потока и верховодки, контур развития техногенной верховодки на фоне изогипс рельефа*

Использование полученных электронных слоев гидрогеологической карты предполагается в рамках совместного анализа их содержания с нагрузкой топографической основы и дополнительной информацией, входящей в состав МГИС, представленных в единой системе координат. В общем случае принципиальная схема такого анализа показана на рис. 4. Адрес интересующего объекта указывается в атрибутивной таблице базы данных, для него определяется комплексная качественная и количественная характеристика гидрогеологической информации (тип фильтрационного разреза, осредненная величина удельного водопотребления на этом участке территории, глубина залегания верховодки и грунтовых вод), которая позволяет оперативно оценить степень потенциальной подтопляемости выбранного объекта.

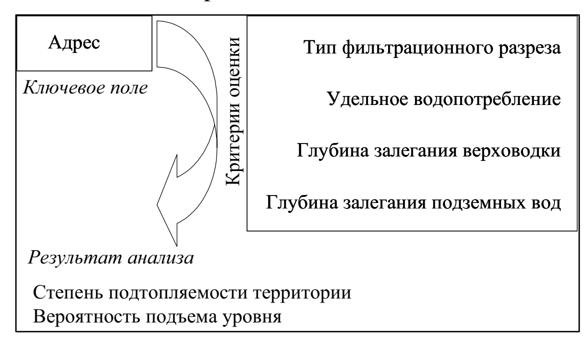


Рис. 4. *Использование атрибутивной информации электронной карты для анализа гидрогеологических условий*

Количественно степень потенциальной подтопляемости территории оценивается путем сравнения различных покрытий электронного представления схематической гидрогеологической карты. Собственно процедура анализа должна рассматриваться по отношению к эпигнозному и прогнозному периодам, для которых несколько изменяются приоритеты выделенных критериев по оценке подтопляемости отдельных участков городской территории.

Для эпигнозных оценок сложившихся условий подтопления важнейшей характеристикой является глубина залегания грунтовых вод. Если она оказывается меньше глубины заложения фундамента инженерного сооружения, возникает подтопление первого рода, непосредственное замачивание грунтов в сфере взаимодействия инженерного сооружения с геологической средой. Такая оценка технологически может быть получена в автоматическом режиме путем сравнения поверхности рельефа с уровенной поверхностью подземных вод через цифровое представление двух *grid*-файлов.

Прогнозная оценка развития процессов техногенного подтопления может быть выполнена на основе совместного анализа двух полигональных покрытий, отражающих строение геологического строения геологического строения в зоне сферы взаимодействия инженерного сооружения с геологической средой и величину удельного водопотребления на застроенной (или застраиваемой) территории. К потенциально подтопляемым участкам относят те площади, в пределах которых существуют естественные предпосылки развития подтопления – двух- и трехслойные типы фильтрационных разрезов с хорошо проницаемым верхним слоем [4–8] и относительно высокое водопотребление, как наиболее интенсивный фактор техногенного воздействия. Анализ может быть выполнен визуально при активизации соответствующих слоев электронной карты или путем присвоения выделенному объекту свойств других электронных покрытий.

Основные результаты исследований

Работа по анализу гидрогеологических условий урбанизированной территории с использованием геоинформационных технологий показала, что использование компьютера не только резко повышает оперативность оценки условий городской территории, но и раскрывает возможности комплексного подхода к интерпретации результатов междисциплинарных исследований, представленных в виде отдельных покрытий (слоев) электронной карты. Именно эти новые качества современного представления ранее проведенных исследований позволяют включить их в систему постоянно действующей МГИС на уровне одного из важнейших компонентов управления городской средой.

Вся работа по созданию электронных версий частных гидрогеологических карт путем привязки растровых изображений их твердых копий к электронной картографической основе с последующей векторизацией выполнена стандартными средствами настольной ГИС MapInfo и не потребовала больших материальных затрат.

Построенные электронные карты гидрогеологического содержания могут быть использованы для ввода и отображения дополнительной информации и являются инструментом для оценки уровня техногенной нагрузки и разработки природоохранных мероприятий на конкретных участках городской территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобразования РФ (проект № 07.01.389); Минпромнауки, грант № НШ-1566.2003.05.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шербаков А.О., Ермаков Г.Г., Пегливанян Г.С. Применение методов компьютерной картографии при оценке уровня загрязнения городской территории тяжелыми металлами // Жизнь земли. Синергетика, экология, геодинамика, музееведение: Сб. науч. тр. / Ред. В.А. Садовничий, С.А. Ушаков. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – Вып. 31. – С. 156–161.
2. Хахалкин В.В. Информационно-аналитическая система для решения проблем природопользования г. Томска // Проблемы геологии Сибири: Тез. докл. научн. конф. – Томск, 1996. – С. 273–274.
3. Льготин В.А., Макушин Ю.В. Опыт организации работ по ведению мониторинга геологической среды на территории Томской области // Информационный бюллетень ГИС ассоциации. – 1996. – № 5. – С. 55–59.

4. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Гидрогеология и подтопление территории г. Томска // Подземные воды юга Западной Сибири. Формирование и проблемы рационального использования: Сб. научн. тр. / Институт геологии и геофизики СО АН СССР / Отв. ред. В.А. Николаев. – Новосибирск: Наука, 1987. – Вып. 683. – С. 146–153.
5. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Типовые фильтрационные разрезы как основа геоэкологического картирования урбанизированных территорий // Геоэкологическое картирование: Тез. докл. Всерос. конф. – М., 1998. – С. 60–63.
6. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Гидрогеологические проблемы строительного освоения территории г. Томска // Обской вестник. – 1999. – № 1–2. – С. 96–101.
7. Кузеванов К.И. Гидрогеологическая основа экологических исследований города Томска // Обской вестник. – 1999. – № 1–2. – С. 53–58.
8. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Формирование структуры фильтрационных потоков урбанизированных территорий (на примере г. Томска) // Три века горно-геологической службы России: Матер. регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. – Томск, 2000. – Т. 1. – С. 323–326.
9. Наливайко Н.Г., Кузеванов К.И., Дутова Е.М. Экогеохимические особенности родников на территории города Томска // Обской вестник. – 2001. – № 1. – С. 89–98.
10. Дутова Е.М., Кузеванов К.И, Покровский Д.С., Наливайко Н.Г., Безрукова О.А., Федорова В.П. Химический и микробиологический состав подземных вод и поверхностных водопроявлений территории Томска. // Три века горно-геологической службы России: Матер. регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. – Томск, 2000. – Т. 1. – С. 373–375.

УДК 556.314